



مزایای روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست در طراحی گروه شمع

عارفه عربانی نژاد^۱، علی فاخر^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - دانشگاه تهران

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تهران

:

Arefeh.arabani@gmail.com

خلاصه

هدف اصلی این مقاله معرفی روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست در طراحی گروه شمع و نشان دادن مزایای نسبی آن در مقایسه با روش سنتی طراحی است. روش طراحی با تحلیل فرق دارد. در این مقاله برای تحلیل و مدل سازی خاک از فنر استفاده شده است. در محل تماس جدار جانبی شمع‌ها با خاک، در هر گره از سه فنر استفاده شده که مشخصات فنر‌ها با توجه به شرایط خاک از روی منحنی‌های $P-Y$ ، $T-Z$ و $Q-Z$ تعریف شده است، لذا این روش ساده تحلیل گروه شمع نیز در کنار روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست برای طراحی گروه شمع در مقاله ارائه می‌شود. برای مقایسه روش‌های جدید و سنتی در طراحی گروه شمع، یک مطالعه‌ی موردی انجام شده و نتایج حاصل از روش سنتی و شمع‌های کاهنده‌ی نشست ارائه شده است. این مقاله نتیجه می‌گیرد که بر خلاف روش سنتی طراحی گروه شمع که شرایط لازم را جهت استفاده از ظرفیت نهایی شمع‌ها فراهم نکرده و بسیار محافظه کارانه است، روش جدید طراحی گروه شمع با تعیین تعداد بهینه شمع‌ها سبب می‌شود که شمع‌ها و پی گسترده مستقر بر آنها تقریباً به صورت همزمان به مرحله تسلیم برسند و طراحی دارای شرایط بهینه‌ای باشد که از نظر اقتصادی دارای اهمیت است.

کلمات کلیدی: پی گسترده، گروه شمع، ظرفیت باربری، نشست مجاز، روش‌های سنتی و جدید طراحی

۱. مقدمه

استفاده از گروه شمع به عنوان پی در سازه‌های مختلف، از دیرباز متداول بوده است. با توجه به پیچیدگی رفتار شمع، موضوعات مختلف در خصوص شمع همواره مورد تحقیق بوده است. از آنجا که شمع‌ها به ندرت به صورت تکی مورد استفاده قرار می‌گیرند گروه شمع نقش زیادی در تحقیقات گذشته داشته است، از جمله می‌توان به تحلیل گروه شمع تحت بار قائم [۱]، تحلیل گروه شمع تحت بار افقی [۲] و مقایسه روش سنتی و جدید در تحلیل گروه شمع [۳] اشاره کرد.

شمع‌های کاهنده‌ی نشست به عنوان یک روش جدید طراحی گروه شمع در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این روش جدید طراحی در اقتصادی کردن طراحی گروه شمع تاثیر زیادی دارد. البته با توجه به تعداد کم مراجع فنی در این زمینه، مهندسين آشنایی کافی با آن نداشته و در نتیجه روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست هنوز رواج چندانی پیدا نکرده است. در ادامه مقاله به بررسی مزایای روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست در مقایسه با روش سنتی طراحی گروه شمع پرداخته شده است. روش طراحی با روش تحلیل متفاوت است. در هر روش طراحی باید از روش تحلیل مناسب استفاده کرد تا تنش‌ها و تغییر شکل‌ها محاسبه گردد. این مقاله علاوه بر ارائه روش جدید طراحی، تلاش می‌کند روش تحلیل ساده‌ای را معرفی کند که استفاده کاربردی از آن برای مهندسان حرفه‌ای به سادگی فراهم باشد.

۲. معرفی روش طراحی شمع‌های کاهنده‌ی نشست در مقایسه با روش سنتی طراحی گروه شمع

همانگونه که اشاره شد روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست، ایده‌ای نسبتاً جدید در طراحی گروه شمع است. برلند و همکاران برای اولین بار ایده‌ی دیدگاه جدید طراحی گروه شمع را مطرح کردند و با در نظر گرفتن یک پی گسترده و افزودن تعداد محدودی شمع در زیر هر مرکز پی گسترده باعث کاهش نشست غیریکنواخت و از بین بردن حالت کاسه‌ای پی شدند. رندولف ایده‌های اولیه فوق را بسط داد و دو فلسفه طراحی گروه شمع را بیان کرد [۴]:

(الف) روش سنتی

(ب) روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست

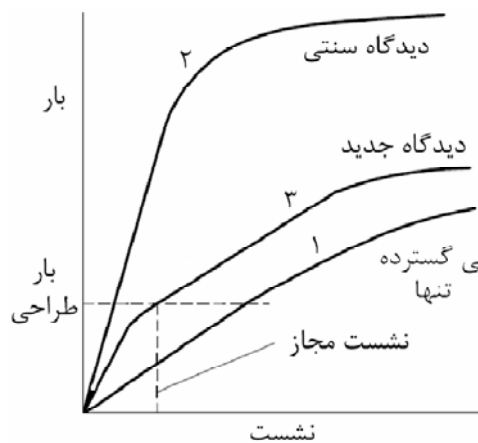
(الف) روش سنتی

در این روش، در صورتی که نشست پی گسترده تحت بارهای وارد بر آن بیش از نشست مجاز باشد از باربری پی گسترده صرف‌نظر شده و گروه‌شمع برای تحمل بارهای اعمالی، با یک ضریب اطمینان مشخص طراحی می‌شود. به این صورت که اغلب هیچ سهمی برای باربری سرشمع در نظر گرفته نمی‌شود. به این ترتیب مقدار نشست کلی بسیار کم بوده و تعداد شمع‌های به کار رفته برای تحمل بار وارد بسیار بیشتر از مقدار مورد نیاز جهت کاهش نشست خواهد بود. از نقطه نظر اقتصادی بهتر است که نشست کلی و غیریکنواخت پی، با در نظر گرفتن ظرفیت باربری پی گسترده دارای محدودیت باشد و همین موضوع، استفاده از روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست را در طراحی گروه‌شمع مورد توجه قرار می‌دهد.

(ب) روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست

در این روش طراحی، تعداد شمع‌های مورد نیاز به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. از آنجا که شمع‌ها تنها در محل‌هایی که برای کنترل نشست مورد نیاز است قرار می‌گیرند، پی گسترده و شمع‌ها با یکدیگر و به صورت بهینه رفتار می‌کنند. در این روش آن تعداد شمع به زیر سرشمع (پی گسترده) اضافه می‌شود که نشست پی گسترده به مقدار مجاز برسد.

شکل (۱) به مقایسه‌ی کلی دو فلسفه طراحی گروه‌شمع می‌پردازد. نکات ذیل در تشخیص تفاوت این دو روش طراحی مفید است



شکل ۱. منحنی بار- نشست فلسفه‌های مختلف طراحی گروه‌شمع

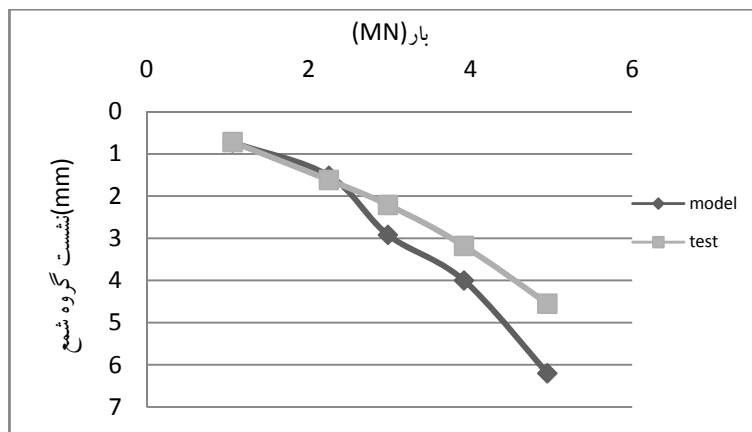
- i. منحنی شماره‌ی (۱) رفتار پی گسترده‌ی تنها را نشان می‌دهد که نشست به وجود آمده تحت بار طراحی بیش از حد مجاز است.
- ii. منحنی شماره‌ی (۲) فلسفه طراحی سنتی گروه‌شمع را نشان می‌دهد که در این روش، بخش اعظم بار وارد توسط شمع‌ها تحمل می‌شود و رابطه‌ی بار- نشست شمع‌ها در بار طراحی به صورت خطی خواهد بود. در این روش ضریب اطمینان بزرگی بر ظرفیت باربری نهایی شمع‌ها اعمال می‌شود، لذا در عمل، اغلب بخش عمده‌ای از باربری استفاده نمی‌گردد.
- iii. منحنی شماره‌ی (۳) روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست و استفاده از تمام ظرفیت باربری شمع‌ها را در بار طراحی نشان می‌دهد. در این روش، ضریب اطمینان بر ظرفیت باربری اعمال نمی‌شود و حداکثر ضریب اطمینان ۱ به کار می‌رود.

روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست با توجه به در نظر گرفتن ظرفیت باربری پی گسترده می‌تواند به طراحی یک پی اقتصادی‌تر در مقایسه با پی‌های عمیق سنتی کمک کند. از طرف دیگر توزیع شمع‌ها سبب کاهش نشست، در مقایسه با پی گسترده‌ی تنها می‌شود. علاوه بر این، شمع‌ها می‌توانند به گونه‌ای طراحی شوند که تا حد نهایی ظرفیت باربری خود، نیرو تحمل کرده و در عین حال، کل سیستم (شمع و پی گسترده) دارای ظرفیت باربری کافی در مقابل گسیختگی باشد. همچنین یکی از موارد کاربرد روش شمع‌های کاهنده‌ی نشست سازگاری آن با شرایطی است که پی دارای بار برون

محوری بالا بوده، یا سازه‌ی فوقانی دارای نقاط بارگذاری شده‌ی مختلف باشد. شمع‌های کاهنده‌ی نشست از دیدگاه ظرفیت باربری مورد نیاز نیستند. شمع‌ها فقط در محل‌های مشخصی جهت محدود کردن نشست‌های غیرمجاز یا نیروی برشی و لنگرهای خمشی موضعی در پی گسترده به کار می‌روند.

۳. مدل‌سازی و صحت‌سنجی آن

برای طراحی باید گروه شمع با روش مناسبی مدل‌سازی و تحلیل گردد. برای مدل‌سازی گروه شمع از نرم‌افزار Sap2000 استفاده شده‌است. در دسترس بودن این نرم‌افزار برای اغلب مهندسان و استفاده گسترده از آن در کارهای حرفه‌ای موجب می‌شود که روش‌های ارائه شده در این مقاله به سادگی توسط مهندسان حرفه‌ای قابل استفاده باشد. در این نرم‌افزار برای مدل‌سازی سرشمع از المان Thick shell که یک دال خمشی را به خوبی مدل می‌کند استفاده شده‌است، در ضمن شمع‌ها توسط المان‌های ستون، که به فنرهای غیرخطی خاک (منحنی‌های انتقال بار) متصل هستند مدل شده‌اند. برای شبیه‌سازی خاک زیر سرشمع از فنرهای q-u، خاک اطراف شمع در راستای قائم از فنرهای t-z، خاک اطراف شمع در راستای افقی از فنرهای p-y و برای شبیه‌سازی خاک زیر نوک شمع از فنرهای q-z که توسط المان غیرخطی (NLLINK) تعریف می‌شوند استفاده شده‌است. پیشنهادات مختلفی برای منحنی‌های q-z، t-z، p-y وجود دارد که در این مقاله از منحنی‌های پیشنهادی API [۵] استفاده شده‌است. همچنین از ضرایب اندرکنش، مطابق توضیحات مرجع [۶] استفاده شده‌است. برای بررسی صحت نتایج مدل‌ها، نتایج مدل‌سازی با نتایج آزمایش محلی انجام شده توسط اونیل و همکاران [۷] مقایسه شده‌است. این آزمایش روی یک گروه شمع ۹ تایی که به صورت 3×3 قرار گرفته‌اند انجام شده‌است. شمع‌ها، فولادی دارای شعاع خارجی ۱۳۷ میلیمتر و ضخامت جدار $9/3$ میلیمتر بوده و تا عمق $13/1$ متر در رس سخت بیش تحکیم یافته کوبیده شده‌اند. شمع‌ها با فاصله مرکز به مرکز $S=6R_0$ قرار گرفته و توسط یک سرشمع بتنی صلب به یکدیگر متصل شده‌اند. برای اعمال اندرکنش بین شمع‌ها در مدل، باید تاثیر آنها در منحنی‌های انتقال بار t-z و q-z در نظر گرفته شود. برای محاسبه اندرکنش بین شمع‌ها از روابط ارائه شده توسط رندولف و فلمینگ برای جدار و نوک شمع استفاده می‌شود. در نهایت و پس از انجام محاسبات و مدل‌سازی، منحنی بار-نشست برای گروه شمع به دست آمده و در شکل (۲) با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شده‌است و مشاهده می‌شود که انطباق خوبی بین نتایج آزمایش و نیز نتایج حاصل از تحلیل مدل در Sap2000 وجود دارد.



شکل ۲. منحنی بار - نشست گروه شمع برای آزمایش اونیل و مدل Sap2000

۴. مطالعه موردی

برای نشان دادن مزیت روش طراحی گروه شمع بر اساس شمع‌های کاهنده نشست در این مقاله از یک مطالعه‌ی موردی استفاده شده‌است. ساختمان مورد بررسی، ساختمان مرکزی بانک صادرات رشت بوده که در مرکز این شهر قرار دارد. اسکلت این ساختمان از نوع بتنی بوده و در ۱۰ طبقه روی همکف اجرا شده‌است. مشخصات خاک منطقه نخست با توجه به اطلاعات موجود در دفترچه مطالعات ژئوتکنیک [۸] بررسی شد و سپس براساس روابط موجود



در مراجع مختلف به شرح جدول (۱) انتخاب گردید. پی گسترده‌ای به ابعاد $B=18.2m$ و $L=46.2m$ در نظر گرفته شده‌است. ضخامت پی با توجه به محاسبات برش سوراخ کننده (Punch)، برابر با ۱ متر است.

جدول ۱- مشخصات انتخاب شده برای پروژه در این مقاله

عمق(m)	نوع خاک	ϕ'	C_u (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)	C_c	μ
0-0.5	خاک نباتی					
0.5-3	رس لای دار به همراه کمی ماسه		۰/۴۵	۴۵		۰/۵
3-6.25	ماسه به همراه مقدار ناچیز لای	۳۶		۲۷۰		۰/۳
6.25-9	رس متوسط به همراه لای		۱	۲۰۰	۰/۱۴	۰/۴۵
9-11.5	ماسه با تراکم متوسط به همراه لای	۳۶		۲۷۰		۰/۳
11.5-17	شن و ماسه	۳۸		۸۰۰		۰/۲۵
17-22	ماسه به همراه لای و شن ریزه	۳۴		۲۷۰		۰/۳

۴-۱. بارگذاری

بار وارد را به صورت مجموع بار معادل وارد بر طبقات که برای هر طبقه در حدود ۰/۱۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و برای همکف برابر با ۰/۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است محاسبه کرده که در نهایت مقدار بار ۱۵۰ کیلوپاسکال به صورت گسترده بر سطح پی اعمال می‌گردد.

۴-۲. ظرفیت باربری پی گسترده و نشست مجاز

در طراحی پی‌های مستقر بر شمع‌های کاهنده‌ی نشست، ظرفیت باربری توسط سرشمع (پی گسترده) تامین می‌شود. ضریب اطمینان برای باربری مجاز پی - گسترده برابر با ۳ در نظر گرفته شده‌است. مقدار نشست متوسط مجاز هم برای پی گسترده مطابق آنچه در پیشنهاد ترازقی و پک آمده است به صورت محافظه کارانه در این پروژه برابر با ۵ سانتیمتر و مقدار نشست غیریکنواخت برابر با ۲ سانتیمتر می‌باشد [۹]. ظرفیت باربری پی گسترده با توجه به مقدار متوسط متغیرهای مقاومت برشی ($C_{avg}=24$ kPa و $\phi_{avg}=27$ درجه) و از روی رابطه‌ی (۱) محاسبه شده و برابر با ۱۷ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع به دست آمده‌است و با توجه به ضریب اطمینان ۳، مقدار باربری مجاز پی گسترده مساوی با ۵/۶۷ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است که از مقدار تنش اعمالی بر پی (۱/۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) بزرگتر است. بنابراین ظرفیت باربری پی سطحی در شرایط کوتاه مدت، با ضریب اطمینان مناسب پاسخگوی بارگذاری مورد نظر است.

$$q_u = cN_c S_c d_c i_c + qN_q S_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (1)$$

که در آن، مقادیر N_c, N_q, N_γ ضرایب ظرفیت باربری، S_c, S_q, S_γ ضرایب شکل و d_c, d_q, d_γ ضرایب عمق می‌باشند.



۳-۴. محاسبه نشست آنی و تحکیم پی گسترده

نشست آنی پی گسترده با توجه به رابطه (۲)، در گوشه و مرکز پی محاسبه می‌گردد.

$$\Delta H = q_0 \beta \frac{1-\mu^2}{E_s} m I_s I_F \quad (2)$$

که در آن $I_s = I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2$ و m تعداد گوشه‌های سهیم در نشست است. مقادیر I_1, I_2 با توجه به ابعاد پی و مقدار I_F با عمق قرارگیری پی از روی نمودارها و منحنی‌های موجود در مراجع محاسبه می‌شوند. نشست آنی برای مرکز پی برابر با ۵/۱۲ سانتیمتر و برای گوشه پی برابر با ۱/۴۶ محاسبه شده و نشست میانگین برابر با ۳/۵۳ سانتیمتر محاسبه شده‌است.

باتوجه به رابطه $k=q/\Delta H$ بین ضریب عکس‌العمل بستر و نشست و بار اعمالی به پی، مقدار ضریب عکس‌العمل بستر برای خاک زیر پی - گسترده محاسبه شده و مقدار آن برابر با ۰/۳۲ کیلوگرم بر سانتیمترمکعب در مرکز و ۱/۱۱ کیلوگرم بر سانتیمترمکعب در گوشه پی گسترده به‌دست آمده‌است که به عنوان پارامتر ورودی در نرم افزار SAP2000 تعریف می‌شود.
تنها لایه رسی اشباع موجود در زیر پی گسترده در عمق ۵/۲۵ تا ۸ متری از سطح زمین قرار دارد. با توجه به رابطه (۳) مقدار نشست تحکیم در این لایه برابر با ۹ سانتیمتر به‌دست آمده‌است.

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P_{avg}}{P_0} \right) \quad (3)$$

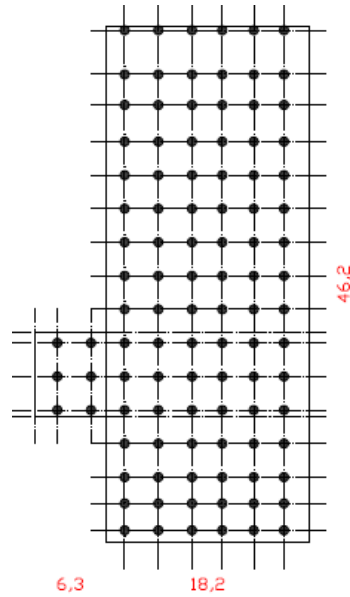
نشست کل برابر با ۱۲/۴ سانتیمتر شده که بیشتر از مقدار مجاز است. لذا جهت کاهش نشست باید از شمع استفاده شود.

۴-۴. طراحی گروه شمع

در این بخش از مقاله به طراحی گروه شمع به روش سنتی و روش شمع‌های کاهنده نشست پرداخته شده‌است. در ابتدا مقدار ظرفیت باربری تک شمع به طول ۲۰ متر محاسبه شده و سپس باتوجه به مقدار بار وارده به شمع‌ها و نشست گروه شمع، طراحی صورت گرفته‌است.
مقدار ظرفیت باربری تک شمع برابر است با مجموع مقاومت اصطکاکی جدار و باربری نوک شمع. برای محاسبه اصطکاک جدار از روش α در محدوده قرارگیری شمع در رس و از روش β در محدوده قرارگیری شمع در ماسه استفاده شده‌است و مقدار مقاومت اصطکاکی جدار شمع ۲۰ متری برابر با ۱۴۴ تن به‌دست آمده‌است. مقدار ظرفیت باربری نهایی نوک شمع ۲۰ متری در صورت استفاده از روش کولهاوی [۹] برابر با ۴۷۵ تن به‌دست آمده و در صورت استفاده از روش آئین نام API مقدار ظرفیت باربری نهایی نوک شمع، ۱۹۹ تن می‌باشد.

۱-۴-۴. طراحی گروه شمع به روش سنتی

در روش سنتی طراحی گروه شمع، سرشمع سهم اندکی در باربری سیستم داشته و بخش اعظم بارهای اعمالی توسط شمع‌ها تحمل می‌شود. در این روش ضریب اطمینان ۲/۵ برای باربری شمع‌ها در نظر گرفته شده‌است. با توجه به مقدار ظرفیت باربری محاسبه شده برای تک شمع و نحوه قرارگیری شمع‌ها در شکل (۳) و همچنین با توجه به روش‌های مختلف محاسبه و نیز مقدار ارائه شده در مطالعات ژئوتکنیکی و نیز بازدهی گروه شمع که برابر با ۰/۷ به‌دست آمده، مقدار ظرفیت باربری مجاز شمع‌ها در گروه برابر با ۱۰۰ تن در نظر گرفته شده‌است.
با توجه به اینکه در صورت استفاده از شمع‌های ۲۰ متری، عمق توزیع تنش برای محاسبه نشست تحکیم پایین تر از لایه رسی قرار گرفته و در نتیجه نشست تحکیم نداریم، مقدار نشست ایجاد شده، تنها ناشی از نشست آنی بوده که با توجه به خروجی Sap2000 برابر است با ۱/۱۳ سانتیمتر در حوالی مرکز و ۰/۵ سانتیمتر در نزدیکی بعد کناری پی، لذا این مقدار نشست کمتر از مقدار مجاز نشست میانگین و نیز غیریکنواخت می‌باشد. با توجه به تحلیل گروه شمع مقدار بار اعمالی به شمع‌ها در محدوده ۶۰ تا ۹۷ تن بوده که کمتر از بار مجاز ۱۰۰ تن است. در نتیجه گروه شمع موردنظر پاسخگوی بار اعمالی به سیستم است.



شکل ۳. پلان گروه شمع در روش سنتی

۲-۴-۴. طراحی گروه شمع به روش شمع‌های کاهنده نشست

با توجه به اینکه ظرفیت باربری پی گسترده پاسخگوی بار اعمالی از طرف روسازه می‌باشد، در نتیجه می‌توان از شمع‌های کاهنده نشست فقط جهت کاهش نشست استفاده کرد. با توجه به مقدار نشست آبی محاسبه شده برای پی گسترده، مشاهده شد که نشست آبی در محدوده مجاز بوده و استفاده از شمع‌ها جهت کاهش نشست تحکیم می‌باشد. برای محاسبه نشست تحکیم فرض شد که پی گسترده معادل در عمق $\frac{2}{3}$ ارتفاع شمع قرار دارد و بار آن با زاویه ۲ قائم و ۱ افقی توزیع می‌شود و سپس رابطه (۳) برای محاسبه نشست تحکیم به کار رفت. محاسبات نشست برای شمع‌هایی با طول‌های مختلف، با روش سعی و خطا انجام شد.

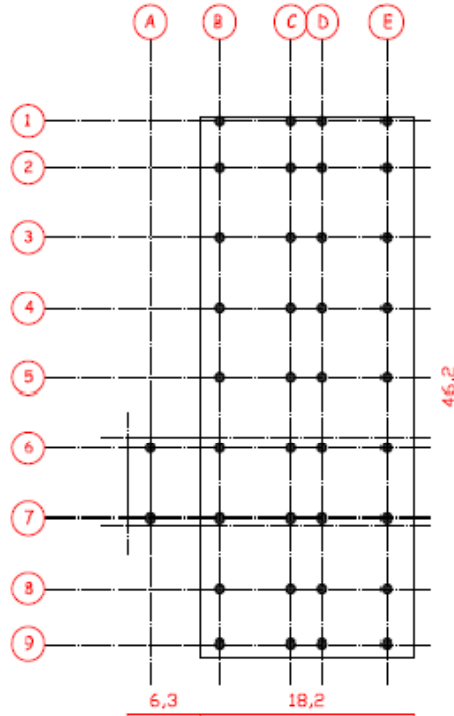
- در صورت استفاده از شمع‌های ۲۰ متری، عمق آغاز توزیع تنش، پایین تر از لایه رسی بوده و در نتیجه نشست تحکیم وجود نخواهد داشت، و مقدار نشست کمتر از نشست مجاز خواهد بود.
- در صورت استفاده از شمع‌های ۱۰ متری، مقدار نشست تحکیم برابر با $\frac{4}{5}$ سانتیمتر خواهد بود و در اینصورت نشست کل بیشتر از ۵ سانتیمتر بوده و غیرقابل قبول است.
- اگر از شمع‌های ۱۱ متری استفاده شود، مقدار نشست تحکیم برابر با $\frac{1}{9}$ سانتیمتر بوده و با توجه به بیشترین مقدار نشست آبی به دست آمده از خروجی مدل‌سازی که $\frac{1}{3}$ سانتیمتر است، مقدار نشست کل ماکزیمم، برابر با $\frac{3}{2}$ سانتیمتر بوده که کمتر از نشست مجاز ۵ سانتیمتر است.

ظرفیت باربری جدار شمع ۱۱ متری برابر با $\frac{76}{3}$ تن و ظرفیت باربری نوک آن برابر با ۱۱۲ تن محاسبه شده است و در نتیجه مقدار ظرفیت باربری نهایی تک شمع برابر با ۱۸۸ تن خواهد بود. با در نظر گرفتن بازدهی ۷۰ درصدی گروه شمع مقدار باربری نهایی شمع‌ها در گروه برابر با ۱۳۲ تن می‌باشد. از آنجائیکه در روش شمع‌های کاهنده نشست باربری شمع‌ها مورد نیاز نیست می‌توان ضریب اطمینان را برابر با ۱ در نظر گرفت. با در نظر گرفتن شمع‌ها به تعداد شمع‌هایی که در روش سنتی طراحی استفاده شد، مشاهده گردید که مقدار بار وارده به هر یک از شمع‌ها به طور میانگین برابر با ۷۰ تن بوده که کمتر از باربری نهایی شمع‌هاست، در نتیجه تعداد شمع‌ها را کاهش داده و مقدار بار وارده و نشست محاسبه شده است.

در صورت قرارگیری شمع‌ها مطابق شکل (۴) مقدار نشست آبی به دست آمده از مدل، برابر با $\frac{2}{28}$ سانتیمتر در نزدیکی مرکز و $\frac{0}{7}$ در نزدیکی ابعاد کناری پی به دست آمده که در نتیجه نشست ماکزیمم کل برابر با ۴ سانتیمتر خواهد بود که کمتر از نشست مجاز بوده و بار اعمالی به هر یک از شمع‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار بار وارده به شمع‌ها کمتر از باربری نهایی شمع‌ها می‌باشد در صورتیکه اگر



ضریب اطمینانی برابر با ۲/۵ مانند روش سنتی طراحی در نظر گرفته شود، بار مجاز شمع‌ها برابر با ۵۳ تن خواهد بود که بار وارده به شمع‌ها بیشتر از این مقدار است.



شکل ۴. پلان گروه شمع در روش شمع‌های کاهنده نشست

جدول ۲- نیروی اعمالی به شمع‌ها در روش شمع‌های کاهنده نشست

Pile Num	F(Ton)	Pile Num	F(Ton)
9-E	90.51	5-D	112.43
9-D	88.83	5-C	112.79
9-C	89.30	5-B	105.49
9-B	90.93	4-E	112.18
8-E	99.81	4-D	117.26
8-D	105.44	4-C	117.63
8-C	106.37	4-B	112.38
8-B	100.84	3-E	112.35
7-E	103.92	3-D	117.43
7-D	111.84	3-C	117.78
7-C	112.20	3-B	112.56
7-B	105.25	2-E	100.43
7-A	83.52	2-D	104.92
6-E	104.81	2-C	105.55
6-D	112.47	2-B	100.85
6-C	112.84	1-E	78.43
6-B	106.11	1-D	73.35
6-A	86.23	1-C	73.85
5-E	104.52	1-B	78.85



۵. نتیجه گیری

نتایج این مقاله به شرح زیر قابل ارائه است

- (الف) روش طراحی گروه شمع بر اساس شمع‌های کاهنده نشست تشریح و به مقایسه آن در برابر روش سنتی طراحی گروه شمع پرداخته شد.
- (ب) برای انجام تحلیل گروه شمع از نرم افزار Sap2000 استفاده شد تا سادگی آن موجب استفاده مهندسان حرفه‌ای شود.
- (ج) برای آنکه مزیت روش طراحی شمع بر اساس شمع‌های کاهنده نشست روشن شود یک مثال واقعی ارائه گردید.
- (ج-۱) در روش سنتی طراحی، شمع‌ها امکان تحمل بار فقط تا حد مجاز طراحی (با ضریب اطمینان ۲/۵ در این مثال) را داشته و لذا تعداد ۱۰۲ شمع ۲۰ متری در زیر پی گسترده استفاده شد.
- (ج-۲) در روش طراحی بر اساس شمع‌های کاهنده نشست، باربری پی گسترده مدنظر قرار می‌گیرد. از آنجا که پی گسترده موجود در این مطالعه با ضریب اطمینان مناسبی پاسخگوی مقدار تنش اعمالی از طرف روسازه است، با توجه به روش طراحی شمع‌های کاهنده نشست از شمع‌ها در نقاطی استفاده شد که نشست بیش از حد مجاز وجود داشت. از آنجا که باربری شمع‌ها در این روش مدنظر نمی‌باشد، شمع‌ها به گونه‌ای قرار گرفتند که بار اعمالی به آنها تقریباً برابر با ظرفیت باربری نهایی شمع باشد، لذا تعداد ۳۸ شمع ۱۱ متری در نقاط نشان داده شده در شکل (۴) قرار داده شد که بار اعمالی به آنها تقریباً در حدود ظرفیت باربری نهایی شمع باشد.
- (ج-۳) مشاهده می‌شود که روش شمع‌های کاهنده نشست نقش عمده‌ای در کاهش هزینه طرح و افزایش بهره‌وری دارد. برای مثال در خصوص ساختمان ۱۰ طبقه بانک صادرات رشت مشاهده شد که ۱۰۲ شمع ۲۰ متری در روش سنتی به ۳۸ شمع ۱۱ متری در روش شمع‌های کاهنده نشست قابل تبدیل است.

۶. قدردانی

بدینوسیله از مسئولین محترم بانک صادرات مرکزی رشت که اطلاعات لازم را در مورد پروژه در اختیار مولفین قرار دادند قدردانی می‌گردد.

۷. مراجع

۱. سعیدی عزیز کندی، علیرضا (۱۳۸۸)، "تهیه بسته نرم افزاری تحلیل و طراحی گروه شمع با سرشمع متکی به خاک تحت بار قائم"، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران.
۲. صادقی حکم آبادی، اصلا (۱۳۸۸)، "تهیه برنامه ی کامپیوتری برای تحلیل شمع های تکی و گروه شمع تحت بار افقی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران.
۳. بادینلو، بهاره (۱۳۸۵)، "تحلیل پی گسترده مستقر بر شمع و خاک و مقایسه دیدگاه سنتی و جدید در طراحی گروه شمع"، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران.
4. Randolph, M. F., (1994), "Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts", State of the art report, 13th Int'l Conf. Soil Mech. Foundn. Engng., New Delhi, Vol.5, pp. 61-88.
5. API, (1993), "Recommendation practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms". API RP2A, American Petroleum Institute.
۶. عربانی نژاد، عارفه و فاخر، علی، (۱۳۸۹)، "مقایسه اثر بکارگیری ضرایب اندرکنش در تحلیل گروه شمع"، مجموعه مقالات چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، ایران، ۱۱-۱۲ آبان
7. Francesco Castelli and Michele Maugeri, M.ASCE., (2002), "Simplified Nonlinear Analysis for Settlement Prediction of Pile Groups", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 128, No. 1, January 2002, pp. 76-84.
۸. مهندسان مشاور ژئوتکنیک ماندرو، (۱۳۷۱)، "گزارش نهایی مطالعات و تحقیقات مکانیک خاک و پی سازی در محل احداث ساختمان مرکزی بانک صادرات رشت"
۹. فخاریان، کاظم و اسلامی، ابوالفضل، (۱۳۸۴)، "ظرفیت باربری محوری شمع‌ها"، وزارت راه و ترابری-معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری، پژوهشکده حمل و نقل، ۲۴۱ صفحه.